

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN
TERHADAP ARUS NETRAL DAN *LOSSES* PADA TRAFO DISTRIBUSI
(STUDI KASUS PADA PT. PLN (Persero) RAYON KARTASURA)**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

ADI NUGROHO

D400150089

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2019

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN *LOSSES* PADA TRAFO DISTRIBUSI STUDI KASUS PADA PT. PLN (Persero) RAYON KARTASURA

PUBLIKASI ILMIAH

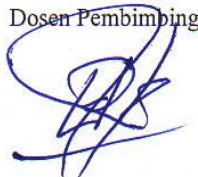
Oleh:

ADI NUGROHO

D400150089

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



UMAR, S.T., M.T

NIK.731

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN
TERHADAP ARUS NETRAL DAN *LOSSES* PADA TRAFO DISTRIBUSI
STUDI KASUS PADA PT. PLN (Persero) RAYON KARTASURA**

OLEH

ADI NUGROHO

D400150089

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Senin, 21 Januari 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Umar, S.T., M.T

(Ketua Dewan Penguji)

2. Agus Supardi, S.T., M.T

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Hasyim Asy'ari, S.T., M.T

(Anggota II Dewan Penguji)



Dekan,


Ir. Sri Sunarjono, M.T, Ph. D
NIK. 628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kerjasama di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak dapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 21 Januari 2019

Penulis



ADI NUGROHO

D400150089

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN *LOSSES* PADA TRAFO DISTRIBUSI STUDI KASUS PADA PT. PLN (Persero) RAYON KARTASURA

Abstrak

Listrik merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia di era modern. Seiring berjalannya waktu kebutuhan listrik di Indonesia terus-menerus bertambah. Guna memenuhi kebutuhan listrik yang efisien, PLN dituntut untuk mendesain pendistribusian tenaga listrik secara seimbang. Realitasnya sering terjadi ketidakseimbangan beban dalam pendistribusian tenaga listrik. Munculnya arus netral pada trafo merupakan akibat dari ketidakseimbangan pembebanan pada trafo distribusi. Arus netral yang mengalir pada netral trafo menyebabkan terjadinya rugi-rugi, yaitu rugi-rugi akibat adanya arus netral di penghantar netral trafo dan rugi-rugi akibat adanya arus *grounding*. Penelitian dan pengambilan data ini dilakukan di PT. PLN (Persero) Rayon Kartasura. Penelitian ini menggunakan beberapa metode dimulai dari literatur, referensi, *interview*, pengumpulan dan pengolahan data yang berkaitan dengan beban tidak seimbang. Data yang diperoleh pada salah satu transformator distribusi di Kartasura bermerek Unindo dengan kapasitas daya trafo 200 kVA pada nomor gardu BCB 1026 atau nomor tiang B3-120 yang kemudian di analisa untuk mengetahui ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi daya pada transformator. Berdasarkan hasil analisa dengan perhitungan diperoleh persentase ketidakseimbangan beban pada siang hari sebesar 4,33% dan pada malam hari sebesar 5,33%. Besarnya nilai rugi-rugi daya yang disebabkan pada penghantar netral trafo terdapat arus netral yang mengalir pada siang hari sebesar 0,046 kW dan persentase 0,028 %, sedangkan pada malam hari sebesar 0,448 kW dan persentase 0,280%. Besarnya perhitungan efisiensi transformator distribusi pada siang hari sebesar 53,81 kW dan persentase 99,9%, sedangkan pada malam hari sebesar 97,73 kW dan persentase 99,5%.

Kata Kunci : arus netral, rugi-rugi daya, ketidakseimbangan beban

Abstract

Electricity is an inseparable part of human life in the modern era. As time goes on, electricity demand in Indonesia continues to increase. In order to meet efficient electricity needs, PLN is required to design a balanced distribution of electricity. The reality is often a load imbalance in the distribution of electricity. The appearance of neutral currents on the transformer is a result of the imbalance of loading on the distribution transformer. Neutral currents that flow at the neutral of the transformer cause losses, namely losses due to the presence of neutral current in the transformer neutral conductors and losses due to presence of grounding currents. This research and data collection was conducted at PT. PLN (Persero) Rayon Kartasura. This study uses several methods starting from the literature, references, interviews, data collection and processing which are related to unbalanced burdens. The data obtained in one of the distribution transformer in Unindo branded cards with 200 kVA transformer power capacity on the BCB 1026 substation number or pole number B3-120, Then analyzed to determine the load imbalance of the neutral current and power losses in the transformer. Based on the results of analysis with calculations, the percentage of load imbalance during the day is 4.33% and at night is 5.33%. The value of the power losses caused by the neutral conductor of the transformer there is a neutral current flowing during the day at 0.046 kW and a percentage of 0.028%,

while at night it is 0.448 kW and the percentage is 0.280%. The spread of the calculation of the distribution transformer efficiency during the day in 53,81 kW and the percentage is 99,9%, while at night it is 97,73 kW and the percentage is 99,5%.

Keywords : neutral current, losses, load imbalance

1. PENDAHULUAN

PLN Rayon Kartasura merupakan salah satu perusahaan milik negara yang bertanggung jawab menyuplai dan mendistribusikan kebutuhan listrik untuk wilayah Kota Kartasura dan sekitarnya. Ketersediaan tenaga listrik telah menjadi sumber yang paling kuat untuk membantu perkembangan ekonomi, industri dan sosial dari negara mana pun. Tenaga listrik di transfer melalui jalur transmisi yang mengirinkan sejumlah daya yang besar dari stasiun pembangkit ke pusat beban dan konsumen (Shahzad S, et all, 2015). Seiring dengan perkembangan ekonomi yang semakin pesat kebutuhan akan tenaga listrik juga semakin meningkat yang ditandai dengan adanya perkembangan baik dari jumlah penduduk, jumlah investasi dan perkembangan teknologi yang menggunakan tenaga listrik untuk melancarkan aktivitas manusia maka secara tidak langsung kehidupan manusia tergantung terhadap tenaga listrik, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun kebutuhan industri. Seiring meningkatnya permintaan tenaga listrik, daya yang hilang juga akan meningkat. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam perluasan jaringan listrik salah satunya adalah menghitung kerugian secara akurat (Fahdialhaq, et all, 2017).

Sistem kelistrikan di indonesia terdiri dari jaringan pembangkit, transmisi dan distribusi. Proses penyaluran tenaga listrik mengalami rugi-rugi daya antara lain, kerugian yang terjadi pada transmisi, sub jalur transmisi dan distribusi serta dalam transformator daya dan transformator distribusi, selain itu kerugian komersial memainkan peran penting dalam menentukan biaya energi yang digunakan oleh pengguna (Shanker S. & Kamaraj N, 2017). PLN dituntut agar dapat menyediakan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen. Umumnya perencanaan pembagian beban trafo 3 fasa pada fasa R, S, T dirancang secara seimbang oleh PLN, kenyataanya dalam pemenuhan kebutuhan tenaga listrik seringkali terjadi pembagian beban pada ketiga fasa yang tidak merata sehingga menimbulkan beban yang tidak seimbang yang akhirnya berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Beban yang tidak seimbang tersebut terjadi karena ketidaksamaan pemakaian energi listrik. Akibat ketidaksamaan pemakaian beban di sisi pelanggan menyebabkan ketidakseimbangan beban antar fasanya, yaitu fasa R, S, dan T yang pada akhirnya muncul arus netral di trafo. Aliran arus netral yang terjadi di trafo menyebabkan terjadinya *losses*, yaitu *losses* yang disebabkan pada penghantar netral trafo terdapat arus netral dan *losses* yang disebabkan arus netral yang mengalir ketanah. Arus netral yang berlebihan pada sistem distribusi dapat mengakibatkan

menurunnya kualitas daya dan menimbulkan panas berlebih pada transformator (Dey N & Chakraborty A, 2013).

Penelitian ini berada di PLN Rayon Kartasura dengan mengambil salah satu beban pada trafo distribusi berkapasitas 200 kVA. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah jaringan distribusi di PLN Rayon kartasura nomer gardu BCB 1026 sudah seimbang atau belum serta apa pengaruhnya arus netral dan *losses* yang timbul akibat dari beban yang tidak seimbang pada fasa R, S, T dan seberapa besar rugi-rugi yang terjadi, sehingga dapat dijadikan bahan evaluasi agar tidak merugikan PLN.

1.1 Perhitungan Arus Beban Pada Transformator

Daya pada transformator memiliki kapasitas yang berbeda-beda. Akan tetapi untuk menentukan perhitungan arus pada transformator mempunyai rumus yang sama, pada sisi primer dan sisi sekunder arus beban penuh dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (1)$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2)$$

Keterangan rumus :

S : Daya trafo (kVA)

V : Tegangan trafo (kV)

I : Arus jala-jala (A)

I_{FL} : Arus beban penuh

Perhitungan arus rata-rata pada ketiga fasa dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (3)$$

Keterangan rumus:

$I_{rata-rata}$: arus rata-rata di ketiga fasa (Ampere)

I_R : arus fasa R (Ampere)

I_S : arus fasa S (Ampere)

I_T : arus fasa T (Ampere)

Perhitungan besarnya persentase beban trafo dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (4)$$

1.2 Daya Pada Saluran Distribusi

Secara umum, daya listrik dihasilkan pada pembangkit listrik yang terletak di tempat yang cukup jauh dari konsumen, kemudian dikirim ke konsumen untuk memenuhi kebutuhannya melalui jaringan transmisi dan distribusi (Saikrishnaprasad et, 2015). Kerugian penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik sebesar $I^2 \cdot R$ watt dapat dikurangi dengan menaikkan tegangan setinggi mungkin (Badaruddin, 2012). Perhitungan daya $[P]$ yang disalurkan melalui suatu penghantar netral dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini dengan syarat arus pada fasa R, S, dan T dalam keadaan seimbang, secara matematis persamaanya sebagai berikut :

$$P = 3 \times V_{P-n} \times I \times \cos \vartheta \quad (5)$$

Keterangan rumus :

P : daya pada ujung kirim (Watt)

V_{P-n} : tegangan pada ujung kirim (V)

I : arus pada ujung kirim (A)

$\cos \vartheta$: faktor daya

Pengiriman daya dari proses transmisi sampai saluran distribusi mengalami penyusutan daya. Penyusutan daya dalam saluran transmisi mengakibatkan daya yang diterima pada ujung saluran distribusi listrik lebih kecil dibandingkan daya pada ujung transmisi. Koefisien keseimbangan beban mempunyai nilai $a = b = c = 1$. Jika persamaan (5) menggambarkan $[I]$ adalah besaran arus fasa pada daya dalam keadaan yang seimbang, maka persamaan di bawah ini menggambarkan $[I]$ adalah besaran arus fasa pada daya dalam keadaan tidak seimbang. Koefisien arus fasa pada keadaan tidak seimbang dapat dinyatakan dengan a, b, dan c. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan :

$$[I_R] = a \times I \text{ jadi } a = I_R / I_{\text{rata-rata}} \quad (6)$$

$$[I_S] = b \times I \text{ jadi } b = I_S / I_{\text{rata-rata}} \quad (7)$$

$$[I_T] = c \times I \text{ jadi } c = I_T / I_{\text{rata-rata}} \quad (8)$$

Rata-rata beban tidak seimbang dalam (%) dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (9)$$

I_R, I_S, I_T di persamaan (6), (7), dan (8) merupakan arus pada fasa R, S, T. Persamaan (10) berikut ini dapat digunakan untuk menghitung besarnya daya dengan dengan nilai faktor daya dianggap sama pada ketiga fasanya meskipun arusnya pada setiap fasa berbeda. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan :

$$P = (a + b + c) \times [V] \times I \times \cos \vartheta \quad (10)$$

Jika besarnya daya pada persamaan (5) dan persamaan (10) nilainya sama maka diperoleh persyaratan seperti pada persamaan (11). Secara matematis dinyatakan dengan persamaan :

$$a + b + c = 3 \quad (11)$$

Beban dalam keadaan seimbang mempunyai koefisien $a = b = c = 1$ (Julius Sentosa S, et al, 2007).

1.3 Perhitungan *Losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral

Losses pada trafo distribusi seringkali terjadi karena pada penghantar netral transformator terdapat arus yang mengalir. Hal ini disebabkan karena sulitnya mengatur beban di sisi pelanggan sehingga menyebabkan ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasanya. Dampak adanya *losses* atau rugi-rugi pada konsumen rumah tangga antara lain adalah energi kirim yang nantinya diterima oleh konsumen rumah tangga akan meningkat sehingga tarif listrik yang akan dibayar konsumen rumah tangga naik. Adanya jatuh tegangan pada tiang ujung yang menyebabkan arus pada jaringan menjadi tinggi sehingga *losses* yang terjadi pada jaringan tersebut meningkat (Ratih, Novalina, & Hari. P, 2013). Persamaan (11) dapat digunakan untuk mencari rugi-rugi daya yang hilang akibat adanya arus netral pada penghantar transformator. Secara matematis dinyatakan dengan rumus :

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (12)$$

Keterangan rumus :

P_N : rugi-rugi daya pada penghantar netral (Watt)

I_N : arus yang muncul pada penghantar netral (A)

R_N : tahanan pada penghantar netral (Ω)

Rugi-rugi daya selanjutnya adalah rugi-rugi yang disebabkan karena pada netral transformator terdapat aliran arus netral yang mengalir ke tanah. Secara matematis dinyatakan dengan rumus :

$$P_G = I_G^2 \times R_G \quad (13)$$

Keterangan rumus :

P_G : rugi-rugi daya terhadap tanah (Watt)

I_G : aliran arus netral trafo ke tanah (A)

R_G : tahanan pada pembumian netral trafo (Ω)

1.4 Ketidakseimbangan Beban

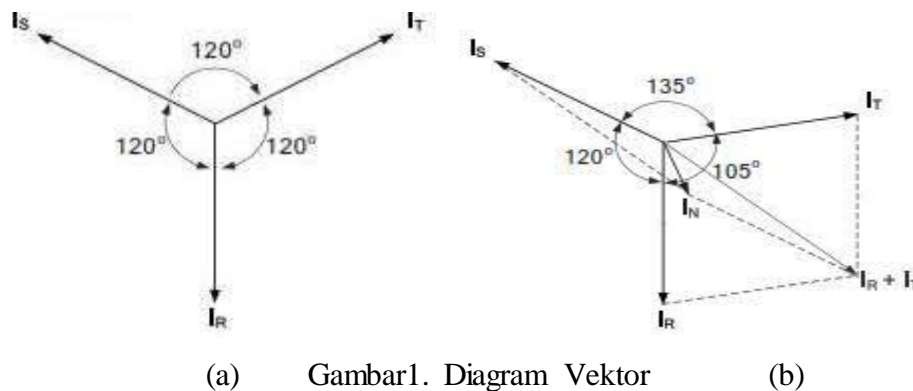
Perbedaan besarnya vektor arus atau tegangan pada ketiga fasa R, S, T dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban. Keadaan tidak seimbang adalah suatu keadaan dimana syarat-syarat pada keadaan seimbang tidak terpenuhi. Ditinjau dari segi vektor, terdapat beberapa hal keadaan ketidakseimbangan :

- Vektor pada ketiga fasa R, S, dan T memiliki nilai yang sama besar tetapi antar fasa-fasa tidak membentuk sudut 120° .
- Vektor pada ketiga fasa R, S, dan T tidak memiliki nilai yang sama besar tetapi sudut antar fasa-fasa membentuk sudut 120° .
- Vektor pada ketiga fasa R, S, dan T tidak memiliki nilai yang sama besar dan antar fasa-fasa tidak membentuk sudut 120° .

Fasa R, S, dan T pada trafo dinyatakan dalam keadaan seimbang jika memenuhi persyaratan di bawah ini :

- Vektor arus atau tegangan dari ketiga fasa R, S, dan T memiliki nilai yang sama besar.
- Ketiga vektor fasa satu sama lain saling membentuk sudut 120°

Lebih jelasnya pada Gambar 1 berikut ini akan digambarkan tentang vektor diagram arus :



Berdasarkan gambar di atas, vektor diagram arus dalam keadaan seimbang ditunjukkan pada gambar 1 (a). Terlihat bahwa pada vektor gambar 1 (a) apabila nilai dari ketiga vektor dijumlahkan akan bernilai nol sehingga arus netral (I_N) tidak akan muncul. Sebaliknya gambar 1(b) menggambarkan tentang ketidakseimbangan pada vektor diagram arus. Vektor arus pada keadaan tidak seimbang, apabila ketiga vektor yaitu fasa R, S, dan T dijumlahkan maka tidak sama dengan nol dan pada setiap fasanya tidak memiliki bentuk sudut 120° karena terdapat perbedaan nilai antar tiap-tiap fasanya, maka muncul arus netral (I_N) pada trafo. Arus netral yang berlebihan pada sistem distribusi dapat mengakibatkan menurunnya kualitas daya dan menimbulkan panas berlebih pada trafo (Dey N & Chakraborty A, 2013).

1.5 Analisis Efisiensi Transformator

Efisiensi trafo adalah perbandingan antara daya listrik keluaran (P_{out}) dengan daya listrik masukan (P_{in}). Persamaanya sebagai berikut:

$$P_{out} = (a + b + c) \times V \times I \times \cos \vartheta \quad (14)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (15)$$

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Ada beberapa metode yang digunakan dalam tahapan penyusunan tugas akhir ini meliputi :

a. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan peneliti dimulai dari pengumpulan referensi sebanyak-banyaknya sebagai dasar teori yang bersumber dari buku-buku yang berbentuk *eBook* dan juga dari jurnal ilmiah, artikel, internet, dan seterusnya yang berkaitan dengan tema sebagai referensi penulis untuk kelangsungan analisa.

b. Interview

Peneliti melakukan tanya jawab atau diskusi secara langsung dengan dosen pembimbing dan pada *staff* PLN Rayon Kartasura serta teman-teman seperjuangan yang membahas mengenai topik tugas akhir ini.

c. Pengambilan Data

Data adalah bagian yang paling penting dalam proses penelitian ini. Pengambilan data dilakukan di PT. PLN (Persero) Rayon Kartasura pada jaringan distribusi 200 kVA dengan nomor gardu BCB 1026 dan nomer tiang B3-120. Data yang di dapat berupa ketidakseimbangan beban pada arus netral dan *losses* yang kemudian dijadikan sebagai bahan analisa pada penulisan tugas akhir ini.

d. Analisa Data

Analisa data ini dilakukan setelah pengambilan data di PT. PLN (Persero) Rayon Kartasura. Data yang sudah diperoleh kemudian dianalisa kedalam bentuk matematis dengan rumus atau persamaan yang telah ditentukan

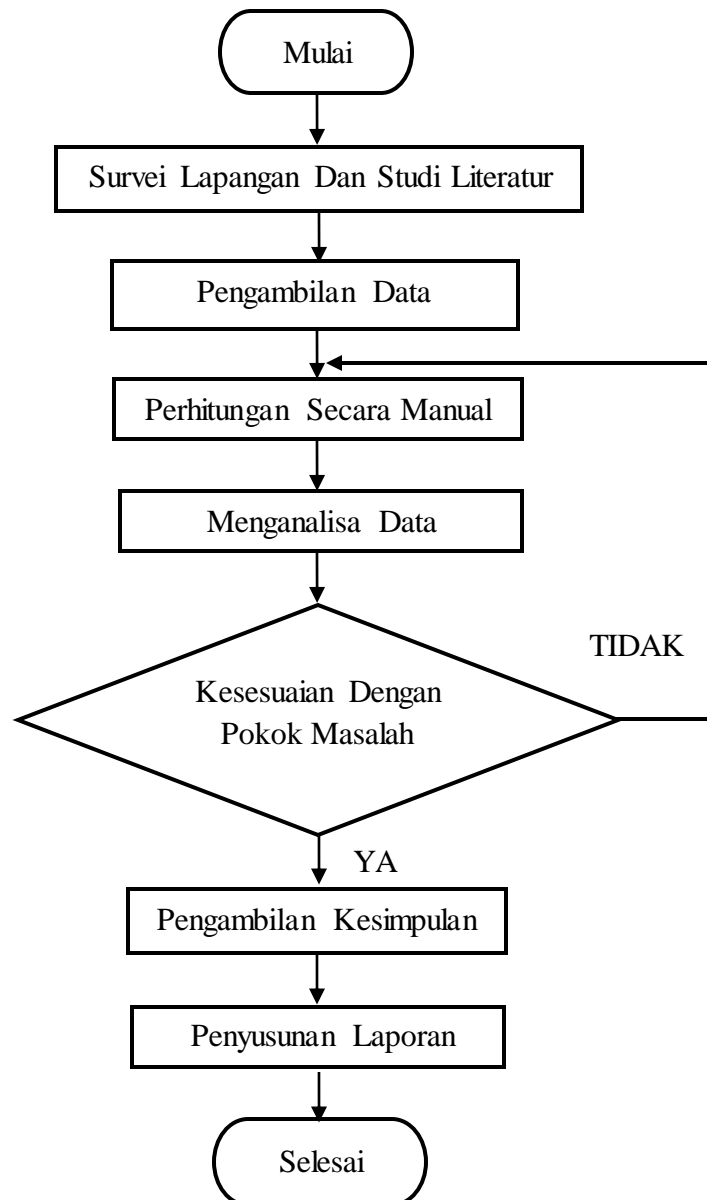
e. Kesimpulan

Hasil akhir yang telah diperoleh dari analisa pada penelitian tugas akhir ini.

f. Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan adalah tahap akhir dari proses penelitian ini, yang ditandai dengan pembuatan laporan sebagai dokumen hasil dari suatu penelitian.

2.2 Flowchart Penelitian



Gambar 2. Flowchart Penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perolehan data yang sudah dihimpun pada penelitian yang dilakukan di PT. PLN Rayon Kartasura ini akan membahas salah satu rugi-rugi yang disebabkan munculnya arus netral sebagai akibat dari sulitnya mengatur pembebanan yang menyebabkan tidak merata pada fasa R, S, dan T dengan menganalisa perhitungan-perhitungan matematis sesuai dengan rumus yang telah ditentukan. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data dan survei lapangan serta mencatat data yang dianggap penting bagi peneliti.

3.1 Data Penghantar Pada Sisi Sekunder Trafo

Penelitian ini akan menganalisa perhitungan dengan menggunakan kawat penghantar netral dan kawat penghantar fasanya masing-masing adalah 50 mm^2 dan 70 mm^2 serta tahanan masing-masing $R = 0,6842 \Omega / \text{km}$ dan $R = 0,5049 \Omega / \text{km}$.

Tabel 1. Spesifikasi Transformator 200 kVA Pada Nomer Gardu BCB-1026

Buatan Pabrik	UNINDO
Daya	200 kVA
Fasa	3
Tegangan Primer L-L (kV)	20 kV
Tegangan Sekunder L-L (V)	400 V
Arus	5,77-288,68 A
Impedansi (%)	4%

Tabel 2. Hasil Dari Pengukuran Transformator Distribusi Berkapasitas 200 kVA

Fasa	S (kVA)	V_{P-n} (V)	I (A)	Cos ϕ
Data hasil pengukuran pada siang hari				
R	24,39	228	107	0,8
S	22,34	228	98	0,8
T	20,65	227	91	0,8
I_N	8,2 A			
I_G	0 A			
R_G	21,7 Ω			
Fasa	S (kVa)	V_{P-n} (V)	I (A)	Cos ϕ
Data hasil pengukuran pada malam hari				
R	43,14	219	197	0,8
S	42,21	221	191	0,8
T	36,85	222	166	0,8
I_N	25,6 A			
I_G	0 A			
R_G	21,7 Ω			

3.2 Analisa Pembebanan Transformator Distribusi Berkapasitas 200 kVA

$$S = 200 \text{ kVA}$$

$$V = 0,4 \text{ Kv} = 400 \text{ V}$$

$$\cos \phi = 0,8$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{200000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 288,68 \text{ A}$$

Perhitungan arus rata-rata pada transformator

$$\bullet \text{ } I_{\text{rata-rata siang}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{107 \text{ A} + 98 \text{ A} + 91 \text{ A}}{3} = 98,67 \text{ A}$$

$$\bullet \text{ } I_{\text{rata-rata malam}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{197 \text{ A} + 191 \text{ A} + 166 \text{ A}}{3} = 184,67 \text{ A}$$

Perhitungan persentase pembebanan transformator pada siang hari

$$\frac{I_{\text{rata-rata siang}}}{I_{FL}} \times 100 \% = \frac{98,67 \text{ A}}{288,68 \text{ A}} \times 100 \% = 31,06 \%$$

Perhitungan persentase pembebanan transformator pada malam hari

$$\frac{I_{\text{rata-rata malam}}}{I_{FL}} \times 100 \% = \frac{184,67 \text{ A}}{288,68 \text{ A}} \times 100 \% = 63,97 \%$$

Hasil perhitungan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa persentase pembebanan pada malam hari lebih tinggi dibanding siang hari yaitu sebesar 63,97%

3.3 Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi 200 kVA

Perhitungan ini menggunakan persamaan (6), (7) dan (8). Besarnya ketidakseimbangan beban dapat diketahui berdasarkan koefisien a, b, dan c seperti di bawah ini. Arus fasa dalam keadaan seimbang memiliki besaran sama dengan besarnya arus rata-rata.

a. Siang hari

$$I_R = a \cdot I \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{107 \text{ A}}{98,67 \text{ A}} = 1,08 \text{ A}$$

$$I_S = b \cdot I \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{98 \text{ A}}{98,67 \text{ A}} = 0,99 \text{ A}$$

$$I_T = c \cdot I \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{91 \text{ A}}{98,67 \text{ A}} = 0,92 \text{ A}$$

Hasil perhitungan di atas dapat digunakan untuk menghitung rata-rata ketidakseimbangan beban pada siang hari dalam persentase. Secara matematis dinyatakan dengan rumus :

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|\alpha-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100 \% \\ &= \frac{\{1,08-1| + |0,99-1| + |0,92-1|\}}{3} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= 4,33 \%$$

b. Malam hari

$$I_R = a. I \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{197 \text{ A}}{184,67 \text{ A}} = 1,06 \text{ A}$$

$$I_S = b. I \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{191 \text{ A}}{184,67 \text{ A}} = 1,03 \text{ A}$$

$$I_T = c. I \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{166 \text{ A}}{184,67 \text{ A}} = 0,89 \text{ A}$$

Hasil perhitungan di atas dapat digunakan untuk menghitung rata-rata ketidakseimbangan beban pada malam hari dalam persentase. Secara matematis dinyatakan dengan rumus :

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|\alpha-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100 \% \\ &= \frac{\{|1,06-1|+|1,03-1|+|0,89-1|\}}{3} \times 100 \% \\ &= 5,33 \% \end{aligned}$$

3.4 Analisa Rugi-rugi Daya Yang Diakibatkan Munculnya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo Pada Siang Hari

Besarnya rugi-rugi daya yang diakibatkan munculnya arus netral pada penghantar netral trafo dapat diketahui dengan perhitungan sesuai persamaan yang telah ditentukan, yaitu:

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (8,2 \text{ A})^2 \times 0,6842 \Omega/\text{km} = 46,00 \text{ Watt} \approx 0,046 \text{ kW}$$

Faktor daya yang digunakan pada penelitian ini sebesar 0,80. Secara matematis rumus daya aktif dapat dinyatakan dengan :

$$\begin{aligned} P &= S \times \cos \phi \\ &= 200 \text{ kVA} \times 0,80 = 160 \text{ kW} \end{aligned}$$

Besarnya persentase rugi-rugi daya yang disebabkan pada penghantar netral trafo terdapat arus netral yang mengalir pada siang hari dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \%P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ \%P_N &= \frac{0,046 \text{ kW}}{160 \text{ kW}} \times 100\% = 0,028 \% \end{aligned}$$

3.5 Analisa Rugi-rugi Daya Yang Diakibatkan Munculnya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo Pada Malam Hari

Besarnya rugi-rugi daya yang diakibatkan munculnya arus netral pada penghantar netral trafo dapat diketahui dengan perhitungan sesuai persamaan yang telah ditentukan, yaitu:

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (25,6 \text{ A})^2 \times 0,6842 \Omega/\text{km} = 448,39 \text{ Watt} \approx 0,448 \text{ kW}$$

Besarnya persentase rugi-rugi daya yang disebabkan pada penghantar netral trafo terdapat arus netral pada malam hari dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\%$$

$$\%P_N = \frac{0,44839 \text{ kW}}{160 \text{ kW}} \times 100\% = 0,280 \%$$

3.6 Analisis Efisiensi Transformator Pada Siang Hari

Besar efisiensi pada transformator dapat dihitung menggunakan persamaan (14) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= (a + b + c) \times V \times I \times \cos \vartheta \\ &= (1,08 + 0,99 + 0,92) \times 228 \times 98,67 \times 0,8 \\ &= 53812,2499 \text{ Watt} \\ &= 53,81 \text{ kW} \\ \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{53,81}{53,81 + 0,046} \times 100\% \\ &= \frac{53,81 \text{ kW}}{53,856 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 99,9 \%$$

3.7 Analisis Efisiensi Transformator Pada Malam Hari

Besarnya efisiensi pada transformator dapat dihitung menggunakan persamaan (13) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= (a + b + c) \times V \times I \times \cos \vartheta \\ &= (1,06 + 1,03 + 0,89) \times 222 \times 184,67 \times 0,8 \\ &= 97736,22816 \text{ Watt} \\ &= 97,73 \text{ kW} \\ \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{97,73 \text{ kW}}{97,73 \text{ kW} + 0,448 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= \frac{97,73 \text{ kW}}{98,178 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 99,5\% \end{aligned}$$

4. PENUTUP

Berdasarkan dari hasil analisa perhitungan di atas tentang beban yang tidak seimbang dapat mengakibatkan munculnya arus netral dan rugi-rugi daya pada transformator distribusi 200 kVA dengan penelitian di PT. PLN Rayon Kartasura dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Penggunaan beban listrik 3 fasa yang tidak merata dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban yang dapat mengakibatkan munculnya arus netral dan *losses* (rugi-rugi).
2. Besarnya perhitungan persentase ketidakseimbangan beban adalah :
 - a. 4,33 % pada siang hari
 - b. 5,33 % pada malam hari
3. Besarnya perhitungan rugi-rugi daya yang disebabkan pada penghantar netral trafo terdapat arus netral yang mengalir adalah :
 - a. 0.046 kW atau 0,028% pada siang hari
 - b. 0.448 kW atau 0,280% pada malam hari
4. Besarnya nilai ketidakseimbangan beban pada trafo berbanding lurus dengan besarnya nilai arus netral dan *losses* di trafo, dengan kata lain semakin besar nilai beban yang tidak seimbang pada trafo distribusi mengakibatkan besarnya pula nilai rugi-rugi trafo dan arus netral yang mengalir ketanah (I_G)
5. Besarnya perhitungan efisiensi transformator distribusi adalah :
 - a. 99,9% pada siang hari
 - b. 99,5% pada malam hari
6. Semakin kecil nilai arus netral dan rugi-rugi daya pada trafo maka efisiensi menjadi semakin besar nilainya

PERSANTUNAN

Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kehadlirat Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan karunianya sehingga dapat tersusun laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT, karena atas segala nikmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
2. Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan suri teladan yang baik bagi seluruh umatnya.
3. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberi semangat, motivasi, dan mendoakan kelancaran di dalam penyusunan tugas akhir.

4. Bapak Umar, S.T, M.T yang selalu membimbing, memberikan masukan kepada penulis sampai terselesainya tugas akhir ini dan juga selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Dosen Jurusan Teknik Elektro UMS yang selalu memberi motivasi dan ilmu pengetahuan pada bidang elektro sehingga penulis bisa mengerjakan laporan dengan baik.
6. Pihak APJ PLN Surakarta dan pihak PLN Rayon Kartasura yang telah mengizinkan dan membantu penulis untuk mengambil data yang di butuhkan pada penelitian ini.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2015 yang selalu mensupport dalam penyusunan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Shahzad S., M, Lodhi, Umair Umer., Shan ul haq., Gardezi, S., Javid, M., Raza, M., Lodhi, I. (2015). Electric Power Transmission and Distribution Losses Overview and Minimization in Pakistan. *International Journal of Scientific & Engineering Research* vol 6.
- Fahdialhaq, Waluyo & A., Saodah, S. (2017). Calculation Analysis of Power Losses on the Medium Voltage Feeders and Distribution Transformer. *International Journal of Applied Engineering Research* vol 12.
- Shanker S., R., & Kamaraj N. (2017). A Case Study : Ways And Means to Measure and Reduce ATC Losses in Distribution System. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovation in Technology* vol 3.
- Dey, Nandita & Chakraborty A. (2013). Neutral Current and Neutral Voltage in a Three Phase Four Wire Distribution System of a Technical Institution. *International Journal of Computer Application* vol 7.
- Saikrishnaprasad, N., & Thirupataiah. (2015). Minimization of Distribution Losses by Implementing High Voltage Distribution System in Real Time Applications. *International Journal of emerging Trends in Engineering Research (IJETER)* vol 3.
- Badaruddin.(2012). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi Proyek Rusunami Gading Icon, Laporan Penelitian Internal.
- Setiadji, Julius Sentosa., Machmudsyah, Tabrani., & Isnanto, Yanuar. (2007). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi. *Jurnal Teknik Elektro* vol 6.

Putri, Ratih Novalina., & Putranto,hari. (2013). Analisis Perhitungan Losses pada Jaringan Tegangan Rendah dengan Perbaikan Pemasangan Kapasitor. Tekno vol 20.